

## **Invitation à la soutenance de thèse**

### **ÉTUDE DU COMPORTEMENT DES CELLULES SOLAIRES PEROVSKITES AUX IRRADIATIONS PROTONS ET ELECTRONS**

*Study of the perovskite solar cells behaviour under proton and electron irradiations*

**Carla COSTA**

**Lundi 23 octobre 2023 à 14h00**

**ONERA - Centre de Toulouse  
2 avenue Edouard Belin - 31400 Toulouse**

***Salle : Auditorium Caroline Aigle***

*(Un lien de visioconférence pourra vous être communiqué sur demande)*

#### **Devant le jury composé de :**

M. Thierry NUNS	ONERA	Directeur de thèse
M. Philip SCHULZ	IPVF	Rapporteur
M. Philippe CHRISTOL	IES	Rapporteur
M. Romain CARIOU	CEA INES	Co-directeur de thèse
Mme Mireille RICHARD-PLOUET	IMN	Examinatrice
M. Dominique VERGNET	ADS	Examineur

#### **Résumé**

L'émergence récente de l'industrie spatiale privée "New Space" se traduit par la recherche de matériaux et dispositifs photovoltaïques alternatifs, offrant un compromis en termes de coût, masse, performances et disponibilité industrielle à grande échelle. Les cellules solaires pérovskites (PSCs) apparaissent comme une rupture technologique potentielle, avec des perspectives de gains de plusieurs ordres de grandeur sur les coûts (€/W), la puissance spécifique (W/g) & volumique (W/m<sup>3</sup>). Cependant, pour atteindre ces objectifs, il reste primordial d'améliorer la connaissance des phénomènes de vieillissement des PSCs en environnement spatial.

Dans ce contexte, les principaux objectifs de cette thèse étaient : I) étudier l'influence de la composition et de l'architecture des PSCs sur la résistance aux irradiations protons et électrons, II) analyser et développer la compréhension des phénomènes de dégradations, III) proposer des stratégies (matériaux/dispositifs) pour améliorer les performances de fin de vie.

L'état de l'art du domaine a permis de rassembler les connaissances sur le vieillissement en environnement spatial, et plus particulièrement sur l'interaction des particules chargées avec les matériaux et les cellules solaires. Ce sujet est bien documenté pour les cellules solaires silicium (première technologie spatiale) et les cellules III-V multi-jonctions (standard actuel), mais pour les PSCs les premières études sous irradiation sont très récentes. Au global, il en ressort un intérêt croissant motivé par le maintien des performances cellules jusqu'à d'importantes fluences. Cependant, ce corpus d'études est très disparate : composition des pérovskites, architectures cellules, rendements, énergies et fluences électrons/protons, protocoles de mesures, etc.

Pour améliorer la compréhension des mécanismes de dégradation, ce travail de thèse s'est basé sur les axes suivants : I) fabrication de PSCs identiques pour les tests (électrons/protons), II) conditions d'irradiation inspirées des standards et III) méthodologie originale : irradiations ciblées de couches et caractérisations ex-situ & in-situ.

La première campagne d'irradiation PSCs s'est focalisée sur les effets des protons sur des PSCs Verre/ITO/SnO<sub>2</sub>/CsxFA1-xPb(1-yBry)<sub>3</sub>/PTAA/ITOTop, avec des doses ionisantes équivalentes à ~20 ans en orbite LEO. Ces travaux ont mis en évidence un optimum (stabilité, rendement AM0 & tenue aux irradiations) de composition pérovskite correspondant à un band gap de 1.60 eV. L'origine de la baisse des performances des PSCs observées aux fortes fluences (5.10<sup>14</sup> protons/cm<sup>2</sup> @ 1MeV) a pu être attribuée aux dégradations de la couche collectrice de trous (PTAA). Une seconde campagne d'irradiation s'est focalisée sur les irradiations électrons pour ces mêmes architectures cellules (2.10<sup>15</sup> électrons/cm<sup>2</sup> @ 1MeV - dose ionisante équivalente ~ 3 ans LEO). Le même optimum en termes de composition de pérovskite a été observé, ainsi qu'une résistance accrue aux irradiations électrons. Des phénomènes d'auto-guérison, déjà documentés ex-situ, ont pu être mis en évidence dans des conditions plus représentatives, grâce aux mesures I(V) in-situ, dans les minutes suivant l'arrêt du faisceau d'électrons. Pour terminer, l'effet du vide sans irradiations sur 4 architectures de PSCs a été étudié. Des baisses de performances partiellement réversibles des cellules pour l'architecture NIP ont été mises en évidence par des caractérisations I(V) in-situ. La migration ionique du Li<sup>+</sup>, provenant du LiTFSI (dopant du PTAA) pourrait en être l'origine. Afin de s'affranchir de cette couche (également dégradée sous protons), une architecture de cellules PIN sans PTAA a été testée sous vide et aux irradiations protons. Les premiers résultats présentés dans ce manuscrit semblent prometteurs face à ces 2 contraintes. Cette architecture PIN (plébiscitée pour le PV terrestre) mérite donc d'être étudiée plus en détail pour le spatial.

**Mots clés :** pérovskite, cellules solaires, irradiations électrons, irradiations protons, vide, caractérisation in-situ.